

ший угол наклона плоскостей сдвига  $\theta$  может оказаться либо больше, либо меньше  $\theta_0$  в зависимости от ширины полосы  $b$  и интенсивности нагрузки  $q$ .

6. Как видно из рис.4, 5, наличие постоянной полосовой нагрузки может существенно повысить значение равнодействующей пассивного отпора.

1.Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – 3-е изд. – М.: Гостехиздат,1955. – 274 с.

2.Клейн Г. К. Расчет подпорных стен. – М.: Высш. шк., 1964. – 196 с.

3.Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т.1. – М.: Госстройиздат, 1961. – 543 с.

*Получено 20.12.2010*

УДК 624.012.45 : 624.046

А.О.ДМИТРЕНКО, канд. техн. наук, Т.А.ДМИТРЕНКО

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ НА ПРОДАВЛЮВАННЯ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЇ АРМАТУРИ**

Викладено розрахунок міцності на продавлювання у залізобетонних плитних конструкціях без поперечного армування з урахуванням поздовжнього армування; проведено порівняння з експериментальними даними.

Приведен расчет прочности на продавливание в железобетонных плитных конструкциях без поперечного армирования с учетом продольного армирования, проведено сравнение с экспериментальными данными.

In article durability calculation on punching shear in ferro-concrete slabby designs without cross-section reinforcing taking into account longitudinal reinforcing is considered; comparison with experimental data is spent.

*Ключові слова:* продавлювання, плитні конструкції, армування.

Існуюча нормативна методика розрахунку міцності плитних конструкцій на продавлювання без поперечного армування не бере до уваги низку факторів, які впливають на міцність, і потребує їх урахування.

Розрахунок міцності залізобетонних плитних конструкцій на продавлювання без поперечного армування проводиться на основі формули для визначення виникнення похилих тріщин при прольоті зрізу, що рівний 1, тобто під кутом  $45^0$ , оскільки небезпека руйнування таких елементів після виникнення похилих тріщин досить висока.

На основі дослідних даних для елементів із важкого бетону без попереднього напруження О.С.Залесов та інші вчені рекомендують здійснювати розрахунок виникнення похилих тріщин за формулою (1)

[2], цю формулу і взято за основу при визначенні міцності похилих перерізів у залізобетонних елементах, що згинаються, без поперечного армування [1]. На даний час як в Україні, так і в Росії розрахунок на дію поперечних сил проводиться з використанням емпіричних співвідношень [4].

Удосконалення інженерних методів розрахунку на основі існуючого методу – один із шляхів подальшого розвитку методів розрахунку як міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються [5], так і міцності на продавлювання плитних конструкцій.

Не розв'язаною частиною загальної проблеми є врахування додаткових факторів, які впливають на міцність залізобетонних плитних конструкцій на продавлювання без поперечного армування.

Метою статті є викладення методики розрахунку визначення міцності залізобетонних плитних конструкцій на продавлювання без поперечного армування з урахуванням поздовжнього армування.

Розрахунок міцності на продавлювання плитних конструкцій, без поперечного армування тісно пов'язаний з розрахунком міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються, без поперечного армування при прольоті зрізу рівному 1. Оскільки експериментальні дані міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються, без поперечного армування мають значний розкид, небезпека руйнування таких елементів після виникнення похилих тріщин досить висока, руйнування має крихкий характер, то розрахунок міцності похилих перерізів таких елементів слід проводити з урахуванням зусилля виникнення похилих тріщин [9]. Для виконання розрахунку виникнення похилих тріщин у залізобетонних елементах, які згинаються, необхідно якомога повніше враховувати всі фактори, що впливають на процес тріщиноутворення.

В [9] викладено методику розрахунку міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, що згинаються, без поперечного армування. Для обчислення поперечної сили  $Q_{crc}$ , при якій утворюються похилі тріщини в елементах без попереднього напруження, за основу взято формулу, яку рекомендують використовувати О.С.Залесов та інші науковці [2],

$$Q_{crc} = \frac{1,2R_{bt,ser}bh_0^2}{c}, \quad (1)$$

де  $b$  – ширина перерізу балки;  $h_0$  – робоча висота перерізу балки;  $c$  – довжина проєкції на поздовжню вісь елемента найбільш небезпечного похилого перерізу.

При цьому  $0,6R_{bt,ser}bh_0 \leq Q_{crc} \leq 2,5R_{bt,ser}bh_0$ .

Таким чином, в елементах без попереднього напруження розрахунок виникнення похилих тріщин можна суттєво спростити. Адже в цій формулі враховано основні фактори, що впливають на тріщиностійкість похилих перерізів: розрахунковий опір бетону розтягу для другої групи граничних станів, геометричні розміри перерізу, відносний прогін зрізу. Але не враховано додаткового фактора – поздовжнього армування. Дослідження залізобетонних балок показують збільшення тріщиностійкості при підсиленні розтягнутої зони [6].

На основі експериментальних даних різних авторів у [7] враховано вплив поздовжньої арматури на зусилля виникнення похилої тріщини та отримано таку залежність:

$$Q_{crc} = \frac{0,75 R_{bt,ser} b h_0^2 \sqrt{1,1 + 0,7 \mu \frac{c}{h_0}}}{c}. \quad (2)$$

Відсоток поздовжнього армування визначається за формулою

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $A_s$  – площа поперечного перерізу поздовжньої арматури.

Відношення  $\frac{Q_{crc}}{R_{bt,ser} b h_0}$  за формулою (2), як бачимо з графіка

(рис.1), добре збігається з експериментальними даними. Відповідно доцільніше використовувати для визначення виникнення похилих тріщин формулу (2) замість традиційної (1).

Запропонована формула (2) враховує основні фактори, що впливають на виникнення похилої тріщини: розрахунковий опір бетону розтягу за другою групою граничних станів, геометричну форму перерізу, відносний прогін зрізу, відсоток поздовжнього армування та суттєво спрощує розрахунок виникнення похилих тріщин в елементах без попереднього напруження з важкого бетону порівняно з формулою існуючих норм. Як показує практика, обмежувати величину сили тріщиноутворення  $Q = 0,6 R_{bt,ser} b h_0$  доцільно лише в елементах з  $\mu \geq 1,5\%$ . В елементах, які армовані поздовжньою арматурою при  $\mu = 1\%$ , похила тріщина може утворюватися і при

$Q = 0,45 R_{bt,ser} b h_0$  за наявності прогону зрізу  $\frac{c}{h_0} = 2,5$  [8]. Тому

для елементів з  $\mu < 1,5\%$  треба нижню границю утворення похилої тріщини встановити на рівні  $Q = 0,45R_{bt,ser}bh_0$ .

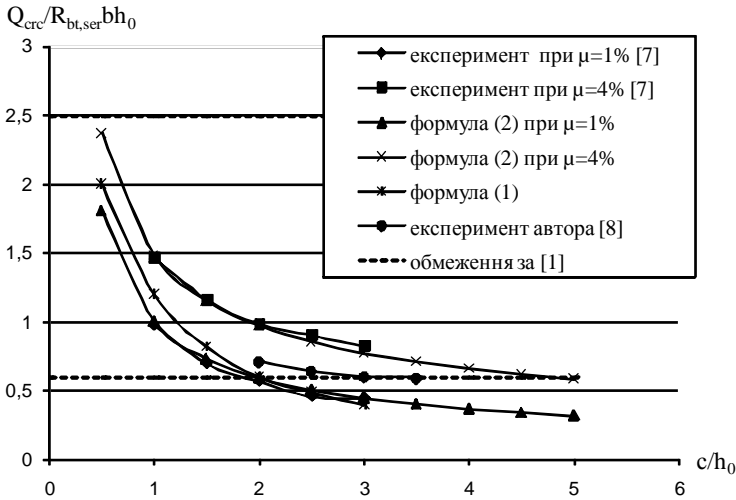


Рис. 1 – Графік залежності зусилля тріщиноутворення від довжини прогону зрізу

Оскільки на зусилля виникнення похилої тріщини впливає поздовжнє армування, відповідно воно має вплив і на несучу здатність елементів без поперечного армування.

Розрахунок із визначення несучої здатності елементів без поперечного армування слід проводити на основі формули (2), яка враховує, крім загальноприйнятих чинників, вплив поздовжнього армування, що більш реально оцінює несучу здатність елементів без поперечного армування.

В загальному випадку формула для визначення міцності похилих перерізів залізобетонних елементів, які згинаються, без поперечного армування матиме вигляд:

$$Q_u = \frac{0,625\varphi_{b4}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_o^2\sqrt{1,1+0,7\mu\frac{c}{h_o}}}{c}, \quad (4)$$

де права частина умови приймається не більшою ніж  $2,5R_{bt}bh_o$  і не меншою за  $\varphi_{b3}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_o$ , а в разі  $\mu_s < 1,5\%$  – не меншою від  $0,45(1+\varphi_n)R_{bt}bh_o$ ; коефіцієнт  $\varphi_{b4}$  приймається за п.3.32 [1].

За діючими нормами [1], розрахунок на продавлювання плитних конструкцій (без поперечного армування) повинен виконуватися за умови

$$F \leq \alpha \cdot R_{bt} \cdot u_m \cdot h_0, \quad (5)$$

де  $F$  – продавлююча сила;  $\alpha$  – коефіцієнт, що приймається для важкого бетону 1;  $u_m$  – середнє арифметичне значення периметрів верхньої та нижньої основ піраміди, що створена при продавлюванні в межах робочої висоти перерізу.

При проведенні розрахунку за формулою (5) передбачається, що продавлювання відбувається по боковій поверхні піраміди, меншою основою якої становить площа дії продавлюючої сили, а бокові грані нахилені під кутом  $45^\circ$  до горизонталі (рис.2).

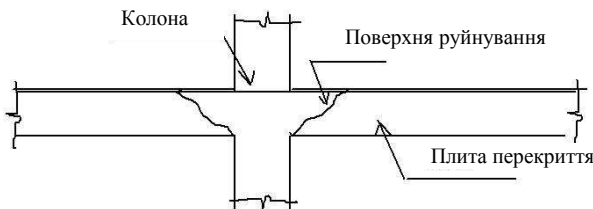


Рис.2 – Схема для розрахунку залізобетонних елементів на продавлювання

В залізобетонних балках це відповідає прольоту зрізу  $c/h_0 = 1$ , при цьому ширина перерізу  $b$  при розрахунку на продавлювання плитних конструкцій усереднюється арифметичним значенням периметрів верхньої та нижньої основ піраміди, що створена при продавлюванні в межах робочої висоти перерізу  $u_m$ .

Таким чином, формулу (5) при розрахунку на продавлювання плитних конструкцій при  $c/h_0 = 1$  можна записати у вигляді:

$$F(Q) \leq \frac{0,625 \varphi_{b4} R_{bt} b h_o^2 \sqrt{1,1 + 0,7 \mu \frac{c}{h_o}}}{c}. \quad (6)$$

Тут коефіцієнт  $(1 + \varphi_n)$  упущено, хоча, можливо, він повинен мати місце при дії поздовжніх стискуючих сил, які можуть виникати залежно від умов завантаження плитної конструкції.

Взявши до уваги, що  $\varphi_{b4}$  для важкого бетону рівний 1,5; для плитних конструкцій середня робоча ширина перерізу – це  $u_m$ , та прийняв-

ши  $c=h_0$  (прольот зрізу рівний 1), маємо

$$F(Q) \leq \frac{0,625 \cdot 1,5 R_{bt} \cdot u_m \cdot h_o^2 \sqrt{1,1 + 0,7 \mu \frac{c}{h_o}}}{h_o} =$$

$$= 0,9375 R_{bt} \cdot u_m \cdot h_o \sqrt{1,1 + 0,7 \mu}.$$

Таким чином, можна визначити міцність на продавлювання плитних конструкцій (без поперечної арматури) з урахуванням поздовжнього армування плити

$$F \leq 0,9375 R_{bt} \cdot u_m \cdot h_o \sqrt{1,1 + 0,7 \mu}. \quad (7)$$

Тут коефіцієнт поздовжнього армування  $\mu$  слід визначати для верхньої частини плити в межах площі дії продавлюючої сили за формулою

$$\mu = \frac{A_s}{u_m \cdot h} \cdot 100\%,$$

де  $A_s$  – площа поперечного перерізу всієї поздовжньої арматури на площі дії продавлюючої сили;  $u_m$  – середнє арифметичне значення периметрів верхньої і нижньої основ піраміди, що створена при продавлюванні в межах робочої висоти перерізу;  $h$  – висота плити.

Формула (7) за відсутності поздовжнього (верхнього рис.2) армування перетворюється на формулу діючих норм. За наявності поздовжнього армування формула (7) дає можливість врахувати додатково вплив поздовжнього армування щодо міцності на продавлювання плитних конструкцій (без поперечного армування).

Як бачимо з графіка (рис.3), обчислення несучої здатності монолітного безбалкового безкапітельного перекриття на продавлювання, без поперечного армування за запропонованою формулою (7) більш наближене до експериментальних даних [10, 11] і враховує додатковий фактор – поздовжнє армування.

Наведена вище формула розрахунку міцності на продавлювання враховує, на відміну від діючих норм, вплив поздовжнього армування.

Розрахунок міцності на продавлювання плит перекриття без поперечного армування можна проводити за формулою (7), яка додатково враховує поздовжнє армування і більш наближена до фактичних даних експериментів.

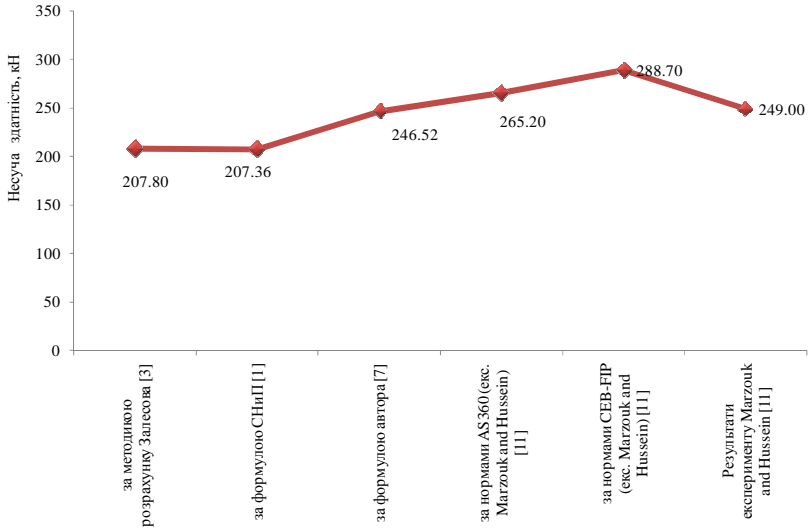


Рис. 3 – Графік порівняння розрахункової та експериментальної несучої здатності на продавливання плит перекрытия

- 1.СНиП 2.03.01.-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 88 с.
- 2.Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям / А.С.Залесов, Э.Н.Кодыш, Л.Л. Лемыш, И.К.Никитин. – М.: Стройиздат, 1988. – 320 с.
- 3.Залесов А.С. Научно-технический отчет по теме: Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментных плит и ростверков на продавливание / А.С. Залесов, Е.А. Чистяков, А.С. Махно. – М., 2002. – 55 с.
- 4.Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Настоящее и будущее расчета железобетона // Бетон и железобетон. – 2005. – №4. – С.3-6.
- 5.Дорофеев В.С., Карпюк В.М., Ковров А.В. К вопросу об экспериментальном обеспечении дальнейшего развития методов расчета прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць / Нац. ун-т водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП, 2006. – Вип. 14. – С.463-471.
- 6.Барашиков А.Я., Колякова В.М., Блалі М. Экспериментальные исследования трещиностойкости железобетонных балок, усиленных различными материалами // Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) / Державний НДІ будівельних конструкцій України Т.2. – К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62. – С.100-105.
- 7.Дмитренко А.О. Визначення зусилля утворення похилих тріщин у залізобетонних елементах, що згинаються // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – Вип.17. – С.102-104.
- 8.Двоскина Л.Г. Исследование вклада характеристик железобетонных элементов в их прочность по наклонному сечению: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Вильнюс,

1977. – 16 с.

9.Дмитренко А.О. Експериментальне дослідження залізобетонних балок по похилому перерізу // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПДТУ, 2000. – Вип.6. Ч.2. – С. 87-90.

10.Marzouk, H. and Hussein, A. Experimental Investigation on the Behaviour of High-Strength Concrete Slabs. ACI Structural Journal, Nov.-Dec., V. 88, No. 6, 1991, pp. 701-713.

11.D. Tuan Ngo. Electronic Journal of Structural Engineering, 1 2001.

*Отримано 12.09.2010*

УДК 624.042 : 624.072

О.А.ШКУРУПІЙ, О.О.ГОЛОВ, Д.М.ЛАЗАРСВ, кандидати техн. наук  
*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ СТОЯКІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

Одержано результати теоретичних розрахунків несучої здатності стояків залізобетонних рам промислових будівель за методикою [1]. Коефіцієнти приведення довжин у розрахунках приймалися за даними таблиці 32 [1], а також з розрахунку за методом переміщень аналітично та з використанням програмних комплексів.

Получены результаты теоретических расчетов несущей способности стоек железобетонных рам промышленных зданий по методике [1]. Коэффициенты приведения длин в расчетах принимались по данным таблицы 32 [1], а также из расчета по методу перемещений аналитически и с использованием программных комплексов.

Theoretical analyses results for reinforced concrete column strength was obtained. Routine of [1] was used. Effective length coefficients were determined using table 32 [1] and displacement method analytically and by means of structural engineering software.

*Ключові слова:* залізобетонна колона, несуча здатність, умовна критична сила, коефіцієнт приведення довжини, розрахункова довжина.

При визначенні несучої здатності залізобетонних колон промислових будівель норми [1] рекомендують визначати значення розрахункових довжин за результатами розрахунку рам з урахуванням деформованої схеми. Причому пункт 3.25 б допускає приймати розрахункову довжину колон за табл.32. Як показують дослідження [4-6], методика норм [1] для визначення несучої здатності гнучких залізобетонних колон, що обчислена за значеннями розрахункових довжин, наведених у табл.32, дає завищені результати.

Підтвердження цих результатів було одержано авторами при розрахунках несучої здатності залізобетонних колон існуючої будівлі прирельсового складу Бориспільського комбінату будівельних матеріалів на основі методу переміщень, з урахуванням деформованої схеми рами.

Метою роботи є визначення несучої здатності залізобетонних колон промислових будівель із значною гнучкістю та порівняння ре-